

26. 5. 2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年   5 月 2 9 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 1 5 1 9 1 7  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [ J P 2 0 0 3 - 1 5 1 9 1 7 ]

REC'D 15 JUL 2004

WIPO

PCT

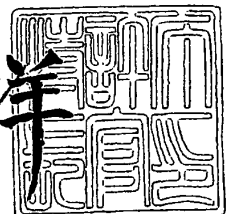
出 願 人  
Applicant(s):      株式会社日立製作所  
                         日産自動車株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   7 月   1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願

【整理番号】 J6198

【提出日】 平成15年 5月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H02K 1/27

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 5 0 2 番地  
株式会社 日立製作所 機械研究所内

【氏名】 根本 佳奈子

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 5 0 2 番地  
株式会社 日立製作所 機械研究所内

【氏名】 ▲高▼野 靖

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 5 0 2 番地  
株式会社 日立製作所 機械研究所内

【氏名】 高木 亨之

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号  
株式会社 日立製作所 日立研究所内

【氏名】 田島 文男

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地  
日産自動車株式会社内

【氏名】 根津 章

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地  
日産自動車株式会社内

【氏名】 山崎 司

## 【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地  
日産自動車株式会社内

【氏名】 大木 俊治

## 【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地  
日産自動車株式会社内

【氏名】 木村 真秀

## 【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地  
日産自動車株式会社内

【氏名】 藤田 育志

## 【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003997

【氏名又は名称】 日産自動車株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100074631

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 高田 幸彦

【電話番号】 0294-24-4406

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033123

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9302113

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電動機

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に 4 または  $4n$  ( $n$  は整数。ただし 4 を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の 3 つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、

4 個の一群の各ピースは、相当長さとして、

$0.19L$ 、 $0.81L$ 、 $0.81L$ 、 $0.19L$  から等しい軸長  $1/2L$  の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  に相当する有効磁極開角の位置方向とされたことを特徴とする電動機。

【請求項 2】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に 4 または  $4n$  ( $n$  は整数。ただし 4 を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の 3 つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、

4個の一群の各ピースは、相当長さとして、

0.19L、0.81L、0.81L、0.19Lから0.39L、0.61L、0.61L、0.39Lの範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

### 【請求項3】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に4または4n（nは整数。ただし4を一群とする）個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長2L、軸方向X軸、軸の中心をX=0、半径方向の加振力をF（x）とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、

4個の一群の各ピースは、相当長さとして、1:2:2:1を基準として、4個の一群のピースの全軸長の±5%範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

【請求項 4】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に 6 または  $6n$  ( $n$  は整数。ただし 6 を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の 3 つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、

6 個の一群の各ピースは、相当長さとして、

$0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$ 、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$  を基準として 6 個の一群のピースの全軸長の  $\pm 5\%$  から等しい軸長  $1/3L$  の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

【請求項 5】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に 6 または  $6n$  ( $n$  は整数。ただし 6 を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の 3 つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、

6 個の一群の各ピースは、相当長さとして、

0.25L、0.50L、0.25L、0.25L、0.50L、0.25L  
を基準として6 個の一群のピースの全軸長の±5%範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

#### 【請求項 6】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に4 個以上の偶数個のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの軸長2L、軸方向X軸、軸の中心をX=0、半径方向の加振力をF(x)とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置されること

を特徴とする電動機。

#### 【請求項 7】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、



前記回転子または固定子を軸方向に4または $4n$  ( $n$ は整数。ただし4を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一振幅の加振力を付与する構成となし、

回転子または固定子の一群の軸長を $2L$ とするときに

4個の一群の各ピースは、相当長さとして、

$0.19L$ 、 $0.81L$ 、 $0.19L$ 、 $0.81L$ から $0.39L$ 、 $0.61L$ 、 $0.61L$ 、 $0.39L$ の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

#### 【請求項8】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に4または $4n$  ( $n$ は整数。ただし4を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一振幅の加振力を付与する構成となし、

4個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $1:2:2:1$ を基準として、4個の一群のピースの全軸長の $\pm 5\%$ 範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

#### 【請求項9】

磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、

前記回転子または固定子を軸方向に6または $6n$  ( $n$ は整数。ただし6を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一振幅の加振力を付与する構成となし、

回転子または固定子の一群の軸長を $2L$ とするときに

6個の一群の各ピースは、相当長さとして、

0.25L、0.50L、0.25L、0.25L、0.50L、0.25L  
を基準として6個の一群のピースの全軸長の±5%範囲のいずれかの長さに設定  
され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効  
磁極開角の位置方向とされたこと

を特徴とする電動機。

【請求項10】

請求項1から9のいずれかにおいて、各ピースの有効磁極開角は、各ピース間  
で1/2スロット分ずつずれた角度で配置されることを特徴とする電動機。

【請求項11】

請求項1から10のいずれかにおいて、電動機がリニアモータである場合、回  
転子および固定子は平面上に展開した形状であることを特徴とする電動機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は電動機、特にインバータモータにおける半径方向加振力により発生す  
る電磁振動、騒音の発生を抑制するようにした構造に関する。

【0002】

【従来の技術】

電動機は家電製品、各種OA機器に多数使用され、さらには近年電気自動車に  
搭載されるようになってきている。

これらモータは出力が大きくなものが要求され、電磁加振力による振動・騒音が  
発生している。

【0003】

半径方向の電磁加振力は回転子と固定子との相対移動時に回転子の磁極から発  
生する界磁磁束の磁路が、固定子に設けられたスロットの開口部を回転子の磁極  
が横切る度に周期的に変化して、ギャップでの磁束分布に変化が生じることによ  
り発生する。半径方向の電磁加振力の回転次数、空間次数、および振幅は回転子  
の有効磁極開角の極数と固定子に設けられたスロット数に依存する。

一方、住居や車内の快適環境の追求により振動・騒音低減の要求が大きくなっ

てきており、それを低減する技術も開発されている。

#### 【0004】

振動・騒低減低技術の一つとして電動機の回転子にスキューを設けることが行われている。スキューを設ける手段としては例えば以下のようなものが挙げられる。

特許文献1ではピース状の永久磁石を外周面上に等分布された位置に固着してロータを製造する過程でシャフトの外周面を軸線方向に複数個に等分割し、各分割された列にてプレス加工でシャフトの外周面上に突起を形成し、それらを各永久磁石の位置決め用として各永久磁石を固着し、突起の上表面にバランスウェイトを必要に応じて付着させスキューを設け、永久磁石の位置決めとスキュー角の確保と工程の簡略化並びに部品点数の削減を図っている。

#### 【0005】

特許文献2ではモータシャフトに位置決め溝をガイドとして軸方向に多極着磁された複数のリング状永久磁石の同極同士を間隔 $t$ で対向させることにより、磁束線をラジアル方向に向かせるようにロータ磁石を構成し、表面磁束密度の特性を著しく向上し、モータの小型化、高性能化を図っている。

#### 【0006】

特許文献3では回転機の磁石内蔵型回転子を、回転方向に交互に極性が異なる磁極を形成するように複数個の永久磁石を内蔵した複数の分割筒状体と、これらを積層状態で支持するシャフトとによって構成する。前記分割筒状体をそれぞれの磁極が回転方向にずらした状態で軸線方向に積層してシャフト上に嵌装し、回転方向で係合させることにより一体的に連結する。このことによりトルクリップを低減し、回転子の円滑な回転を確保し、低コストな回転機を得ている。

#### 【0007】

特許文献4では永久磁石が装着されたロータと複数のスロットを有するステータとで構成されるブラシレスDCモータにおいて、ロータの有効磁極開角がステータのスロットピッチの整数倍に1スロットオープニングに相当する角度を加えた値に設定し、ロータを軸方向に複数分割し、分割されたロータが其々のコギングトルクに関して $1/2$ 周期に相当する機械角度分を軸周りにずらして構成する

ようにしている。

#### 【0008】

##### 【特許文献1】

特開平6-245417号公報

##### 【特許文献2】

特開2000-245117号公報

##### 【特許文献3】

特開2000-308286号公報

##### 【特許文献4】

特開2001-359266号公報

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許文献1ではコギングトルク低減や、アンバランス力低減、部品数の削減には有効であるが、半径方向電磁加振力による振動・騒音低減効果は少ない。

特許文献2についてもコギングトルク低減については有効であるが、隙間を設けることが不可能な場合には適用できず、また半径方向電磁加振力による振動・騒音低減効果はない。

#### 【0010】

特許文献3ではトルクリップル低減については効果があるが、半径方向電磁加振力による振動・騒音低減については必ずしも効果はない。

特許文献4ではコギングトルクによって発生する回転軸の曲げ振動の抑制には効果がある。しかし、内転型モータの半径方向電磁加振力により発生する固定子の軸方向曲げ変形モードに対して抑制効果は必ずしもない。

本発明の目的は、電動機の半径方向電磁加振力に起因する振動を低減し、その結果より低騒音な電動機を提供することにある。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明になる電動機において、回転子または固定子はそれぞれ一群の軸長  $2L$

に対し、4 個以上の偶数個の回転子ピースまたは固定子ピースに分割（ここで、「分割」としているが分割されているとみられる所定の数個からなるよう設定された場合を含む）される。各回転子ピースまたは固定子ピースは固定子の軸方向の変形モードに対し、直交するような力を発生するよう、各回転子ピースまたは固定子ピースに含まれる有効磁極開角の軸長と円周方向の相対位置が決定される。

### 【0012】

前記回転子または固定子を軸方向に 4 または  $4n$ （ $n$  は整数。ただし 4 を一群とする）個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $x$  軸、軸の中心を  $x=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の 3 つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置される。

### 【0013】

回転子または固定子が 4 つ（ $4n$  を含めて）の回転子ピースまたは固定子ピースに分割された場合、上記 3 つの式によって理想的に求められる 4 つの回転子ピースまたは固定子ピースの軸長は、基本的に  $0.29L$ 、 $0.71L$ 、 $0.71L$ 、 $0.29L$  であり、この基準値に基づいて相当長さを設定し、かつそれぞれの回転子ピースまたは固定子ピース 1 極分の有効磁極開角は、回転子または固定子の円周方向に各回転子ピースまたは固定子ピース間での電気角の位相差が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように、例えば各ピース間で  $1/2$  スロット分ずつずれた角度で配置される。このとき、電気角はスロットリプル成分に対するものを用い、一周期（ $2\pi$ ）はスロットピッチである。

### 【0014】

回転子または固定子が 6 つ（ $6n$  を含めて）の回転子ピースまたは固定子ピース

に分割された場合、上記3つの式によって理想的に求められる6つの回転子ピースまたは固定子ピースの軸長は、 $0.25L$ 、 $0.5L$ 、 $0.25L$ 、 $0.25L$ 、 $0.5L$ 、 $0.25L$ に設定され、設定された順序で配置される。かつそれぞれの回転子ピースまたは固定子ピース1極分の有効磁極開角は回転子または固定子の円周方向に各回転子ピースまたは固定子ピース間での電気角の位相差が、 $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ となるように、例えば各ピース間で $1/2$ スロット分ずつずれた角度で配置される。

### 【0015】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参考にして本発明の実施の形態を説明する。

図1は本発明になる電動機100のとして、磁石として、永久磁石モータを例にとった場合の回転子1および固定子7の一実施例を示す図である。図3は、固定子コア（固定子）7の概念図を示し、図3（a）は円筒状図を、図3（b）はその断面を示す。これらの図において、回転子1のコアは積層鋼板の積み重ねで構成され、積層鋼板の積み重ねを軸長方向に複数個のブロック、すなわち回転子ピースに分割する。図1中では回転子1は4つの回転子ピース3、4、5、6、シャフト10、回転子ピース3、4、5、6の軸方向と同じ長さの永久磁石2（2a、2b、2c、2d）から構成されている。それぞれの永久磁石2は $\theta$ なる有効磁極開角を有する。

### 【0016】

図1中では有効磁極開角をなす永久磁石2は回転子1のコアに埋め込まれているが、図16に示すように回転子1のコア表面に貼り付けられた構成でもよい。また、有効磁極開角がリング状のマグネットに着磁されたN極、S極により実現された構成でもよい。

回転子ピース3、4、5、6の軸方向の長さ、および有効磁極開角の円周方向の位置により決定される電気角の位置を以下の考え方で決定する。

本発明では電気特性により発生する半径方向の電磁加振力が固定子コア7の軸方向モードと直交するような軸長、電気角位相差の組み合わせパターンとしている。

## 【0017】

振動・騒音が発生する電動機100の固定子コア7の固有モードを梁の0、1、2次の曲げモードであると仮定し、このモードの発生を抑制する電磁加振力のパターンを考える。

簡単に検討するために構造系は固定子コア7のみ、固定子コア7の軸長は回転子1のコア軸長と同じ2L、固定子コア7の境界条件は両端フリーまたは両端を完全拘束、固定子コア7を梁要素、回転子ピース3、4、5、6の軸長と、回転子ピース3、4、5、6に含まれる永久磁石2の軸長は同じとする。回転子1にエンドリングが存在する場合、軸長2Lにはエンドリングの長さは含めないものとする。

## 【0018】

このとき各次数の梁曲げモードに対して図2に示す直交条件が考えられる。この中で次に示す数式を満足し、製造上実地的な個数の場合に求められる例えば図2のCaseDを例にとり、各回転子ピース3、4、5、6の軸方向の長さを決定することを考える。

式の展開を簡単にするために、図4に示すように固定子コア7をx軸方向の1次元梁、固定子コア7に加わる力をy軸方向の1次元加振力とする。固定子コア7の軸長は2Lとする。

## 【0019】

1次元梁を固定子のx軸中心点Oに対し対称となるように4つの部分に分割する。各部分に加わる力を点Oに対し点対称となるように、例えばf、-f（fは定数）と設定する。これは、各ピースに半径方向の実質的に同一振幅の加振力が付与される構成である。

## 【0020】

力の関数をF(x)とすると、このように分割することにより、以下の条件式が満足されることを考える。

## 【数1】

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0 \cdots \text{数1}$$

【数 2】

$$F(-x) = -F(x) \cdots \text{数 2}$$

数式 1、数式 2 を満足し、さらには次の数式 3 を満足することを考える。ここで数式 1 は、積分値を 0 とするものであって 0 次の軸方向モードに対応して 0 次の振動モードを抑制し、数式 2 は点対称の振動を 0 とするものであって、2 次の軸方向モードに対応して 2 次の振動モードを抑制する。数式 3 は、モーメント値を 0 とするものであって、1 次の軸方向のモードに対応して 1 次の振動モードを抑制するものである。分割される分割ピースは複数個、特に得られる解から 4 個以上の偶数個となる。

【数 3】

$$\int_{-L}^L xF(x)dx = 0 \cdots \text{数 3}$$

1 次元梁要素に加わるモーメント M は次数で表される。

【数 4】

$$M = -\int_{-L}^{-x_1} xF(x)dx + \int_{-x_1}^0 xF(x)dx - \int_0^{x_1} xF(x)dx + \int_{x_1}^L xF(x)dx \cdots \text{数 4}$$

上式を整理すると次式となる。

【数 5】

$$M = 2\left(-\int_0^{x_1} xF(x)dx + \int_{x_1}^L xF(x)dx\right) \cdots \text{数 5}$$

ここでモーメント  $M=0$  となる条件を導入すると次式となる。

【数 6】

$$-\int_0^{x_1} xF(x)dx + \int_{x_1}^L xF(x)dx = 0 \cdots \text{数 6}$$

上式を解くと 4 個の分割ピースの場合に、 $x_1$ 、 $L$  には以下の関係が成り立つ。

。



【数 7】

$$x_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}L \approx 0.71L \cdots \text{数 7}$$

上記の関係は固定子コア 7 を円筒面、加振力が x 軸を中心とする円環 n 次の 3 次元加振力としても成立する。

【0 0 2 1】

従って、回転子 1 を軸長

【数 8】

$$\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)L, \frac{1}{\sqrt{2}}L, \frac{1}{\sqrt{2}}L, \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)L \cdots \text{数 8}$$

の回転子ピース 3、4、5、6 に分割し、それぞれの電気角の位相差が 0、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように隣り合う回転子ピース間で円周方向の位置をずらし、永久磁石 2 の円周方向の位置決めを行うことにより理想的には固定子コア 7 に加わるモーメントが 0 となり、梁曲げ 0、1、2 次モードを抑制することができる。

ただし、実際の電動機においては固定子等の構造や、拘束条件によりモーメント M が完全に  $M=0$  とはならないのでその点は注意する必要がある。

【0 0 2 2】

以上のように、基本的には、回転子の有効磁極開角の 1 極分ずつ軸方向に複数個のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は回転子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向を x 軸、軸の中心を  $x=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると次の 3 つの関係式、

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

が成り立つように、決定される電動機を構成する。

【0 0 2 3】

上記の電動機において、回転子の有効磁極開角の1極分をそれぞれ回転子コアの軸長  $2L$  に対し、4つのピースに分割し、理想的な4つのピースは軸長  $0.29L$ 、 $0.71L$ 、 $0.71L$ 、 $0.29L$  であり、かつそれぞれのピースは回転子の円周方向に電気角の位相差が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように配置する。

上記の有効磁極開角の4ピースの軸長誤差は、回転子コアの4個の一群のピースの全軸長に対し  $\pm 5\%$  の範囲と設定することができる。

上記の電動機において、回転子の有効磁極開角の1極分をそれぞれ回転子コアの一群の軸長  $2L$  に対し、6つのピースに等分割しかつそれぞれのピースは回転子の円周方向に電気角の位相差が  $0$ 、 $\pi$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように配置することも可能である。

#### 【0024】

上記の電動機において、回転子の有効磁極開角の1極分をそれぞれ回転子コアの一群の軸長  $2L$  に対し、6つのピースに分割した場合、 $x=0$  の位置から6つのピースはそれぞれの接合面を  $-b$ 、 $-a$ 、 $0$ 、 $a$ 、 $b$  とすると

$$L^2 = 2(b^2 - a^2)L^2$$

を満足し、かつそれぞれのピースは回転子の円周方向に電気角の位相差が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように配置する。

#### 【0025】

上述のことを基本として、後述する図7に示す例であって、前述した3つの数式を満足しないケースとしての分割無し、Case A、Case C および Case G よりもよい効果が得られる例として、例えば、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に4または  $4n$  ( $n$  は整数。ただし4を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは回転子コアの一群の軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、4個の一群の各ピースは、相当長さとして、0.19L、0.81L、0.81L、0.19Lから0.50L、0.50L、0.50L、0.50Lの範囲のいずれかの長さに設定され得る。

#### 【0026】

また、例えば磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に4または4n（nは整数。ただし4を一群とする）個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長2L、軸方向X軸、軸の中心をX=0、半径方向の加振力をF（x）とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、4個の一群の各ピースは、相当長さとして、0.19L、0.81L、0.81L、0.19Lから0.39L、0.61L、0.61L、0.39Lの範囲のいずれかの長さに設定され得る。

#### 【0027】

相当電気角は、図2から判るように隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされる。尚、この位置方向は相対的なものであるので、 $\pi$ 、0、 $\pi$ 、0としても等価である。

電気角の位相差を $\pi$ とする手段としては永久磁石2の周方向の位置を1/2スロットずらすことが考えられる。このずらし方には図1に示すずらし方と、図13に示すずらし方の2通りが考えられる。このどちらを採用するかについてはモータ効率、製作の容易さの観点から選択すればよい。

### 【0028】

また、回転子1を6つの回転子ピースに分割した場合についても同様に軸長を決定することができる。これは、上述の3つの数式を満足するケースである図2のCase Hに相当し、このとき図2中のa、b間には以下の関係式が成り立つ。

### 【数9】

$$L^2 = 2(b^2 - a^2)L^2 \dots \text{数9}$$

上式を満足する解としては例えば $a = 0.25$ 、 $b = 0.75$ が存在する。

分割されたピースについて配置された順序から見た軸長は、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$ 、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$ となる。

### 【0029】

例えば、有効な範囲として、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に6または $6n$ （ $n$ は整数。ただし6を一群とする）個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長 $2L$ 、軸方向X軸、軸の中心を $X = 0$ 、半径方向の加振力を $F(x)$ とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、6個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$ 、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、

0.25Lの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が構成される。

### 【0030】

また、例えば、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に6または6n（nは整数。ただし6を一群とする）個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長2L、軸方向X軸、軸の中心をX=0、半径方向の加振力をF(x)とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、6個の一群の各ピースは、相当長さとして、0.25L、0.50L、0.25L、0.25L、0.50L、0.25Lを基準として6個の一群のピースの全軸長の±5%の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が構成される。

### 【0031】

また、軸長を2nLとした場合、4ピース分割、6ピース分割を一群として上記4ピース分割、6ピース分割のn倍も同様の効果を得ることができる。4ピース分割および6ピース分割で前述したようにCase D、Case Hが得られ、この分割個数が製作上望ましい。

### 【0032】

図5に示す電動機100の計算モデルを用いて、回転子1を分割しない場合の円環0次の軸方向に振幅一定の半径方向加振力を入力したときの振動速度の周波数応答を図6に示す。電動機100の計算モデルは外表面がフロントブラケット、リアブラケット、フレームからなる。フレームの内周に固定子コア7は焼き嵌

めされている。回転子1はブラケットにはめ込まれた軸受けを介して電動機100の内部に設けられている。本周波数応答には5645Hzのピークが存在する。

#### 【0033】

電磁加振力のパターンを変更して円環0次の軸方向に振幅一定の半径方向加振力を固定子コア7に入力した場合の電動機100の振動速度ピーク振幅を複数の節点について求め平均化した結果を図7に示す。これによると、図2のCase Dで加振したときの振動速度は分割無しに対し約25dB、回転子1を4等分割し、電気角の位相差を0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ としたCase Cに対し15dB低減している。前述した4つのピースの集合体として形成し、理論式から求まる理想的な軸長、電気的な配列を基準にして軸長、電気的な配列を定めることによってCase CあるいはCase Gの場合よりもよい結果が得られる。それらは、11.5dB以下、例えば15あるいは20dB低減することである。これらの低減は、本実施例の各例に示す相当長さの一群の各ピース長さに設定することによって達成される。

#### 【0034】

図8に電動機100に減速機を取り付けたときの表面速度平均を計算した結果を示す。図8より、Case Dの加振力に対する表面平均速度が他の加振力パターンよりも小さな値となっており、減速機をつけても振動低減効果があることがわかる。

#### 【0035】

次に、位相の切り替え位置を数%変更したときの振動応答について検討する。

固定子コア軸方向断面メッシュ図81のメッシュ分割数を20（図9）とする。位相差0、 $\pi$ の切り替え位置を、Case Dを基準に軸方向に $\pm 0.1L$ 変更したときの振動速度のピークを計算した結果を図10、図11、図12に、切り替えのパターンを図9に示す。図9は、固定子コア軸方向断面のメッシュ図81において位相差を切り替える位置を示す図である。図10は、Case Dの電磁加振力の位相差を切り替える位置を変更して振動速度を計算した結果を示す図である。図11は、Case Dの電磁加振力の位相差を切り替え位置P1（図1参

照)をずらして振動速度を計算した結果を示す図である。図12は、Case Dの電磁加振力の位相差を切り替え位置P2をずらして振動速度を計算した結果を示す図である。図10、図11、図12よりCase Dの電気角位相差0、 $\pi$ の切り替え位置が最適ポイントであることがわかる。また、位相差0、 $\pi$ の切り替え位置を軸長に対して $\pm 5\%$ 変更しても振動低減の効果が有り、どの切り替えパターンでも分割なしの場合より振動速度が11dB以上、低減している。位相差0、 $\pi$ の切り替え位置は少なくとも $\pm 5\%$ 変更を含む。

従って、回転子ピース3、4、5、6の軸長に理想値を変更した多少ばらついた状態に形成してもCase Dに基づいている限り、Case Dの加振力は振動低減効果があることになる。

#### 【0036】

以上のように、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に4または $4n$  ( $n$ は整数。ただし4を一群とする)個以上のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの一群の軸長 $2L$ 、軸方向X軸、軸の中心を $X=0$ 、半径方向の加振力を $F(x)$ とすると、次の3つの関係式

$$\int_{-L}^L F(x)dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x)dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置され、4個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $0.29L$ 、 $0.71L$ 、 $0.71L$ 、 $0.29L$ を基準として、4個の一群のピースの全軸長 $\pm 5\%$ の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が0、 $\pi$ 、0、 $\pi$ に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が提供される。

#### 【0037】

これまで、円環0次の電磁力高調波成分についてCase Dの加振力パターン

の振動低減効果について見てきたが、その他の円環次数の電磁力高調波成分についても同様の効果を得ることができる。

#### 【0038】

図14に別の実施例を示す。これは、前述した3つの数式を満足することを前提に、回転子1を軸長が同一 ( $1/3L$ ) の回転子パーツ3、4a、4b、5a、5b、6の6パーツに分割し、回転子パーツ3の有効磁極開角  $\theta$  を持つ永久磁石2a、回転子パーツ4a、4bの有効磁極開角  $\theta$  を持つ永久磁石2b、回転子パーツ5a、5bの有効磁極開角  $\theta$  を持つ永久磁石2c、回転子パーツ6の有効磁極開角  $\theta$  を持つ永久磁石2d間の電気角位相差  $0, \pi, 0, \pi$  に設定したものである。本構成にすることにより、回転子パーツ3、4a、4b、5a、5b、6を同じ軸長で作成することができ、作成コストを低減することが可能である。また、振動低減効果がある軸方向分割範囲内の構成である。

#### 【0039】

以上、半径方向に振幅一定の加振力を加えた場合について述べてきた。この考え方は、分割幅を一定にして、加振力の振幅を変化させる場合についても適用できる。例えば、図15に示すように軸長  $2L$  の回転子1は4つの回転子ピースに等分割され、それぞれのピースの電気角位相差が  $0, \pi, 0, \pi$  で、軸長を  $x$  軸方向、 $-L \leq x \leq L$  の範囲とすると、 $x$  軸中心点  $O$  に近いほうの  $-L/2 \leq x \leq 0, 0 \leq x \leq L/2$  の2つの回転子ピースへの加振力振幅がその外側の固定子ピースへの加振力振幅の3倍（設定の基準加振力に対する倍数）である構成は数式1、数式2、および数式3を満足する。

#### 【0040】

従って、総合的には、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に4個以上の偶数個のピースに分割し、それぞれのピースの長さおよび電気角は、回転子コアまたは固定子コアの軸長  $2L$ 、軸方向  $X$  軸、軸の中心を  $X=0$ 、半径方向の加振力を  $F(x)$  とすると、次の3つの関係式



$$\int_{-L}^L F(x) dx = 0$$

$$\int_{-L}^L xF(x) dx = 0$$

$$F(-x) = -F(x)$$

に基づいて、相当長さおよび前記ピース間で円周方向にずらした相当位置とされた関係で設定され、設定された順序で配置される電動機が構成される。

#### 【0041】

上記の例のいずれかにおいて、各ピースの有効磁極開角は、各ピース間で  $1/2$  スロット分ずつずれた角度で配置される電動機が構成される。

#### 【0042】

实际的で実態的な例として、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または固定子を軸方向に 4 または  $4n$  ( $n$  は整数。ただし 4 を一群とする) 個以上のピースに分割し、回転子または固定子の一群の軸長を  $2L$  とするときに、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一の加振力を付与する構成となし、4 個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $0.19L$ 、 $0.81L$ 、 $0.81L$ 、 $0.19L$  から  $0.39L$ 、 $0.61L$ 、 $0.61L$ 、 $0.39L$  の範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が構成される。

#### 【0043】

また、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または／および固定子を軸方向に 4 または  $4n$  ( $n$  は整数。ただし 4 を一群とする) 個以上のピースに分割し、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一の加振力を付与する構成となし、4 個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $1:2:2:1$  を基準として、4 個の一群のピースの全軸長の  $\pm 5\%$  範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が構成される。

#### 【0044】

また、磁石が装着された回転子と複数のスロットを有する固定子とで構成される電動機において、前記回転子または／および固定子を軸方向に 6 または  $6n$  ( $n$  は整数。ただし 6 を一群とする) 個以上のピースに分割し、回転子または固定子の一群の軸長を  $2L$  とするときに、それぞれのピースに、半径方向の実質的に同一の加振力を付与する構成となし、6 個の一群の各ピースは、相当長さとして、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$ 、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $0.25L$  を基準として 6 個の一群のピースの全軸長の  $\pm 5\%$  範囲のいずれかの長さに設定され、相当電気角は、隣接ピース同士が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  に相当する有効磁極開角の位置方向とされた電動機が構成される。

また、この加振力パターンは永久磁石モータのほか、図 18 に示すシンクロナスリラクタンスモータ、図 17 に示すスイッチトリラクタンスモータ、図 19 に示すブラシレス DC モータに対しても同様に適用可能である。従って、磁石としては永久磁石以外の磁石の使用が可能であり、例えば電磁石であってもよい。

#### 【0045】

さらには図 19 のブラシレス DC モータの場合、磁石 2 が配置されているのは固定子コア 7 である。固定子コア 7 は固定子コアピース 71、72、73、74 の 4 つのピースに分割されている。このように、固定子コア 7 の方を分割しても同様の効果を得ることができる。

#### 【0046】

また、図 20 に示すようにリニアモータに対しても本発明は適用可能である。このとき、回転子 1 を 1 点にて切断し、円筒面を展開して平面にしたものと考えられる。このとき半径方向の加振力は円環モードの一部を 1 点にて切断し、円筒面を展開して平面にしたものと考えればよい。

#### 【0047】

#### 【発明の効果】

本発明になる電動機は、駆動動作により発生する振動・騒音のうち、半径方向電磁加振力により励起されるモータの振動・騒音を低減する効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図 1】

本発明になる電動機の回転子の一実施例を示す図である。

【図 2】

本発明になる電動機の加振力パターンと電磁加振力が満足する必要がある直交条件を示す図である。

【図 3】

固定子コアと固定子コア軸方向断面の位置関係を示す図である。

【図 4】

回転子コアを 4 ピースに分解した場合の回転子ピースの加振力パターンを示す図である。

【図 5】

解析に用いた電動機の図である。

【図 6】

回転子を分割しない場合の円環 0 次の半径方向加振力を入力したときの振動速度の周波数応答図である。

【図 7】

電磁加振力を変えて電動機の振動速度を計算した結果を示す図である。

【図 8】

電動機に減速機を取り付けたときの表面速度平均を計算した結果を示す図である。

【図 9】

固定子コア軸方向断面のメッシュ図において位相差を切り替える位置を示す図である。

【図 10】

Case D の電磁加振力の位相差を切り替える位置を変更して振動速度を計算した結果を示す図である。

【図 11】

Case D の電磁加振力の位相差を切り替え位置 P 1 をずらして振動速度を計算した結果を示す図である。

【図 12】

C a s e D の電磁加振力の位相差を切り替え位置 P 2 をずらして振動速度を計算した結果を示す図である。

【図 13】

図 1 の発明のもう一つの別の実施例を示す構成図である。

【図 14】

図 1 の発明のもう一つの別の実施例を示す構成図である。

【図 15】

回転子コアを 4 ピースに分解した場合の回転子ピースの加振力パターンのもう一つの別の実施例を示す構成図である。

【図 16】

図 1 の発明の表面磁石モータへの適用例を示す図である。

【図 17】

図 1 の発明のスイッチトリラクタンスモータへの適用例を示す図である。

【図 18】

図 1 の発明のシンクロナスリラクタンスモータへの適用例を示す図である。

【図 19】

図 1 の発明のブラシレスモータへの適用例を示す図である。

【図 20】

図 1 の発明のリニアモータへの適用例を示す図である。

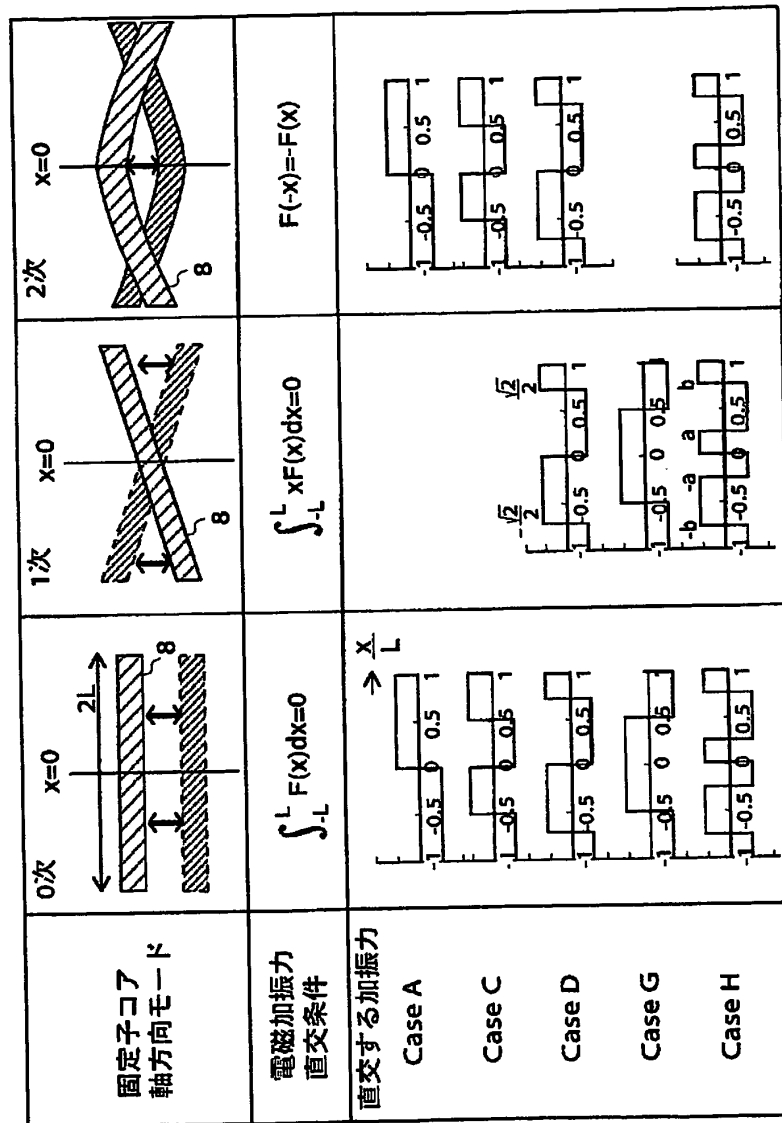
【符号の説明】

1…回転子、2 (2 a、2 b、2 c、2 d) …有効磁極開角  $\theta$  を持つ永久磁石、3、4、5、6、4 a、4 b、5 a、5 b…回転子ピース、7…固定子コア (固定子)、8…固定子コア軸方向断面、10…シャフト、81…固定子コア軸方向断面メッシュ図、100…電動機、71、72、73、74…固定子ピース。



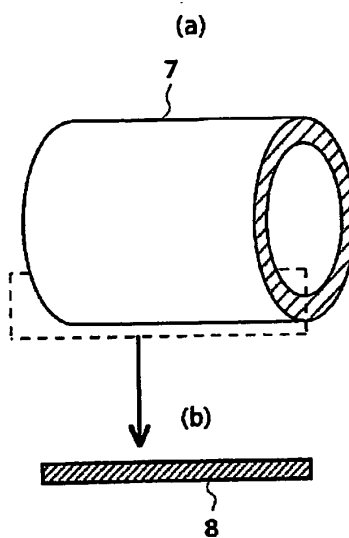
【図2】

図 2



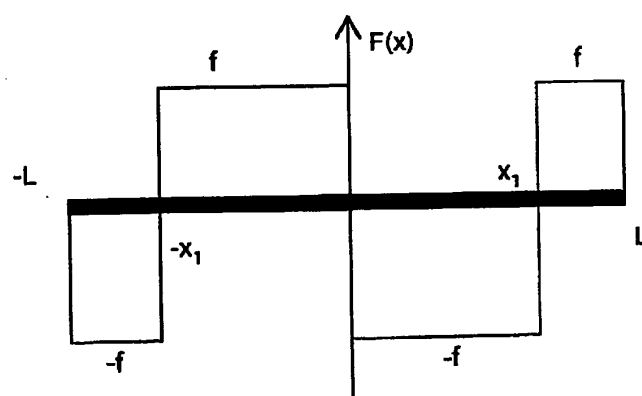
【図 3】

図 3



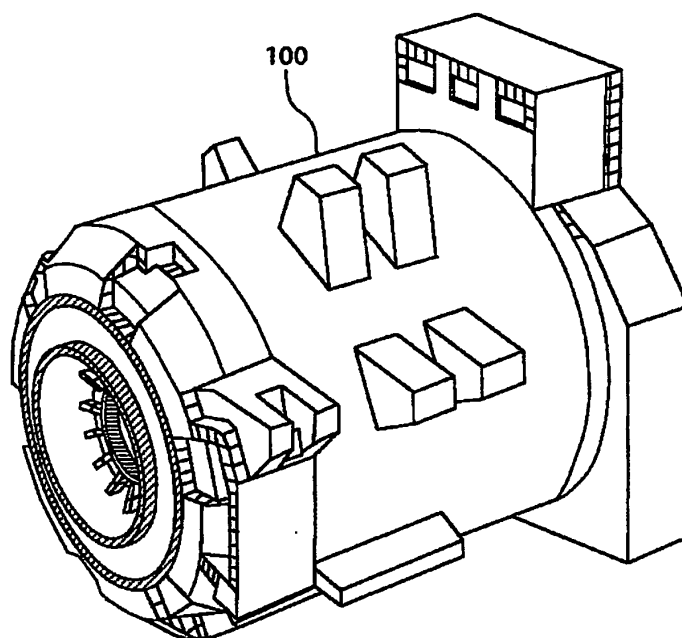
【図 4】

図 4



【図5】

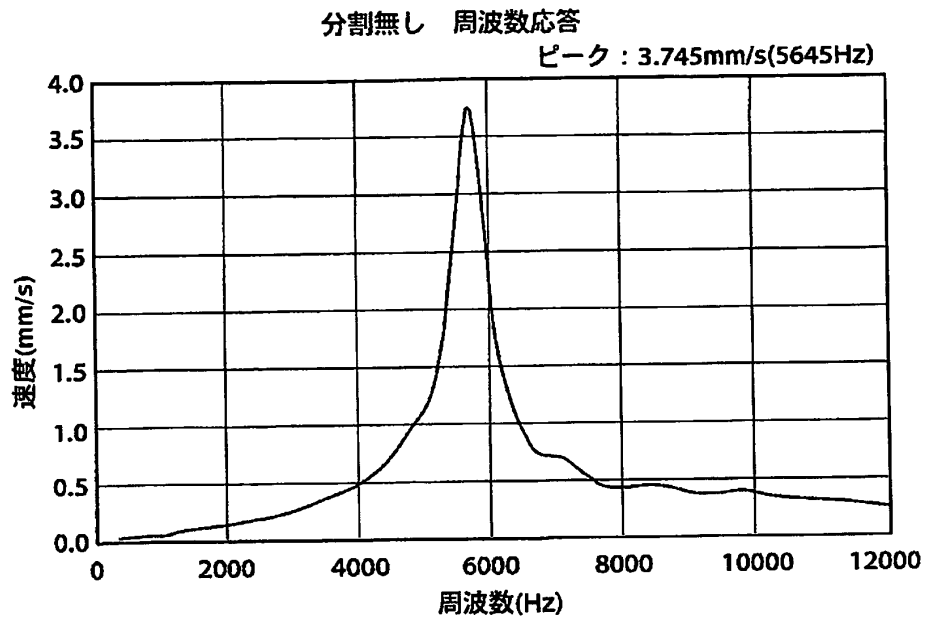
図 5





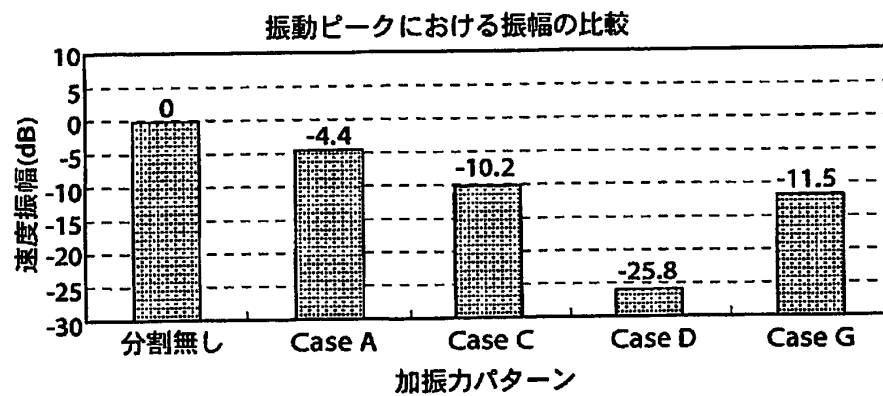
【図 6】

図 6



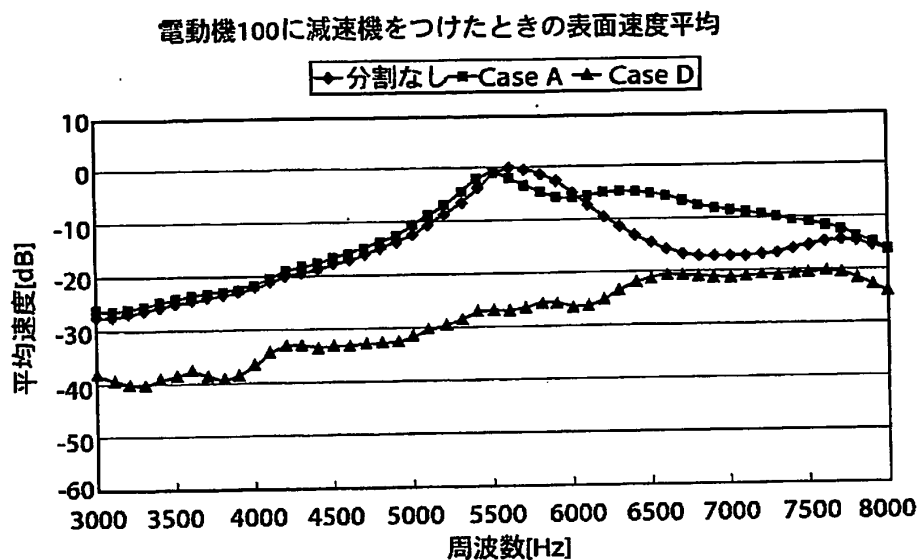
【図 7】

図 7



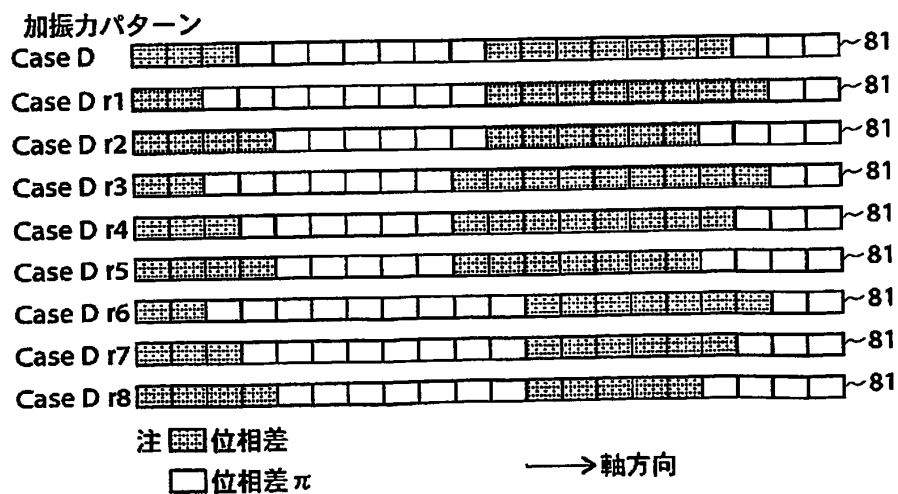
【図 8】

図 8



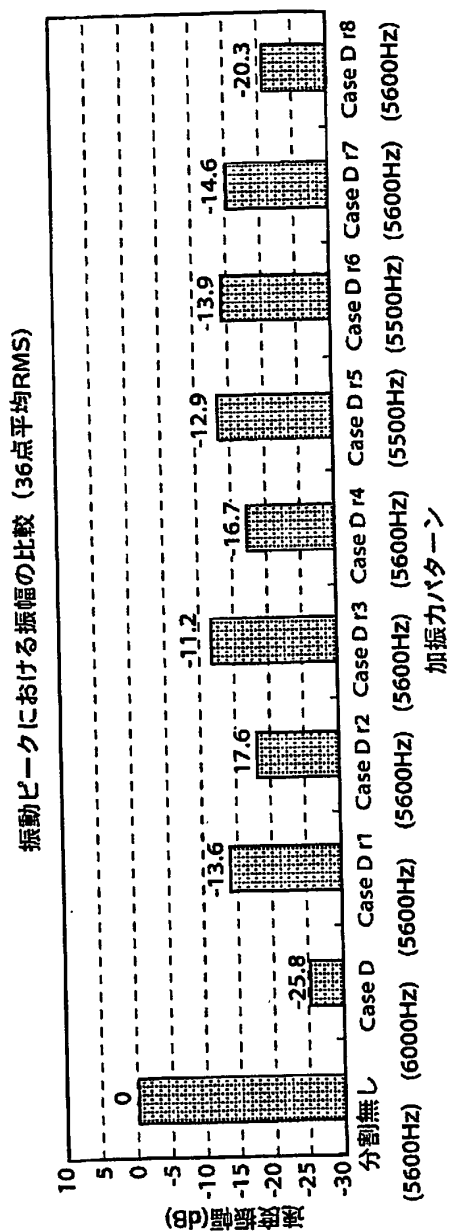
【図 9】

図 9



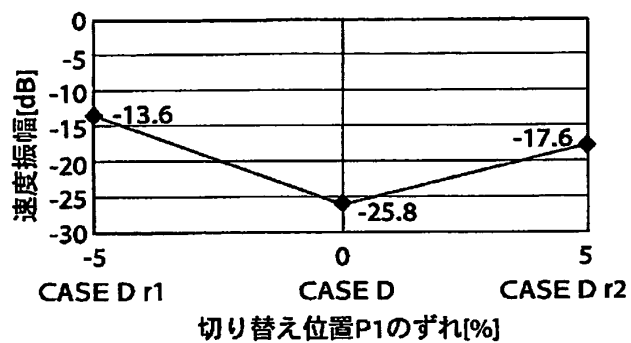
【図10】

図 10



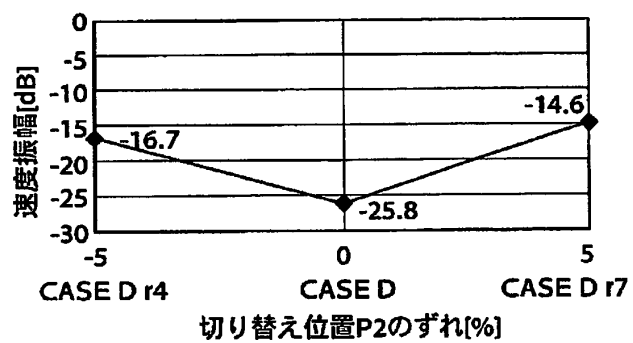
【図11】

図 11



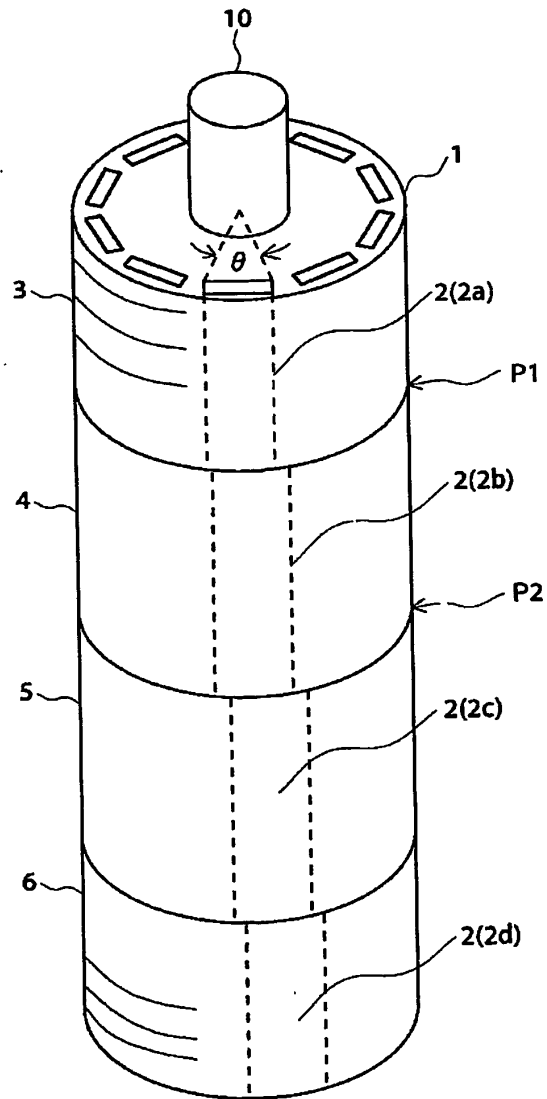
【図12】

図 12



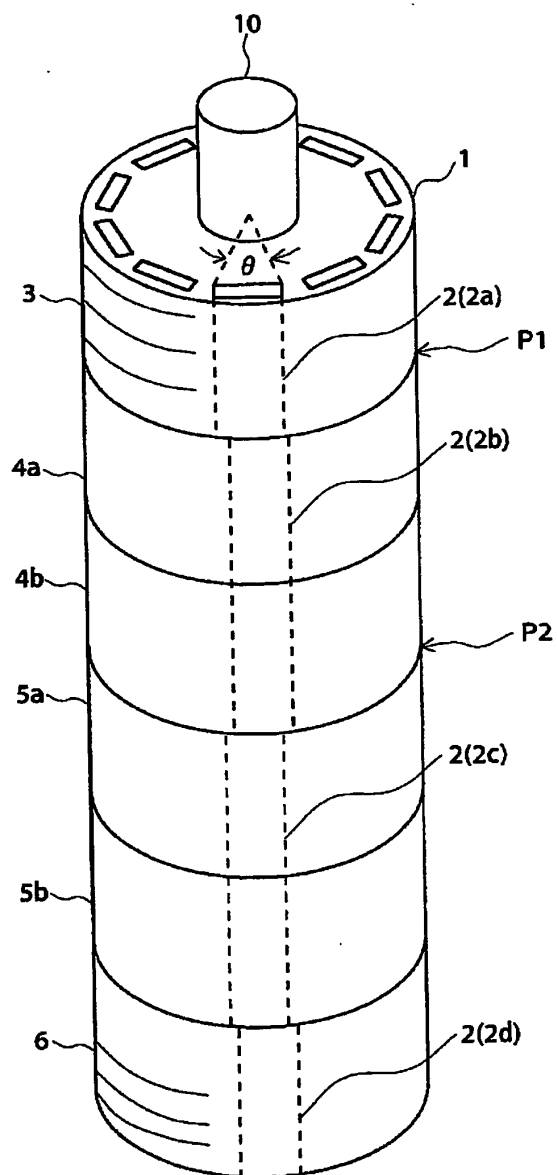
【図 13】

図 13



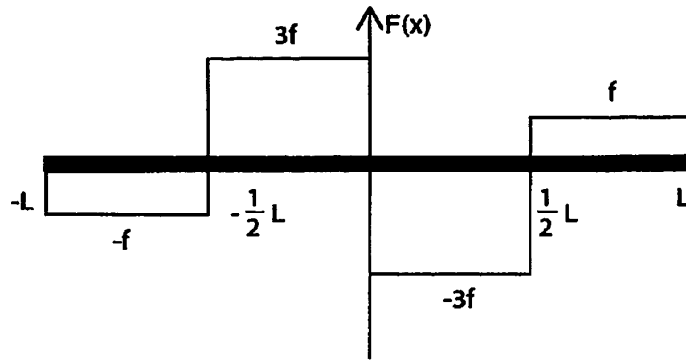
【図 14】

図 14



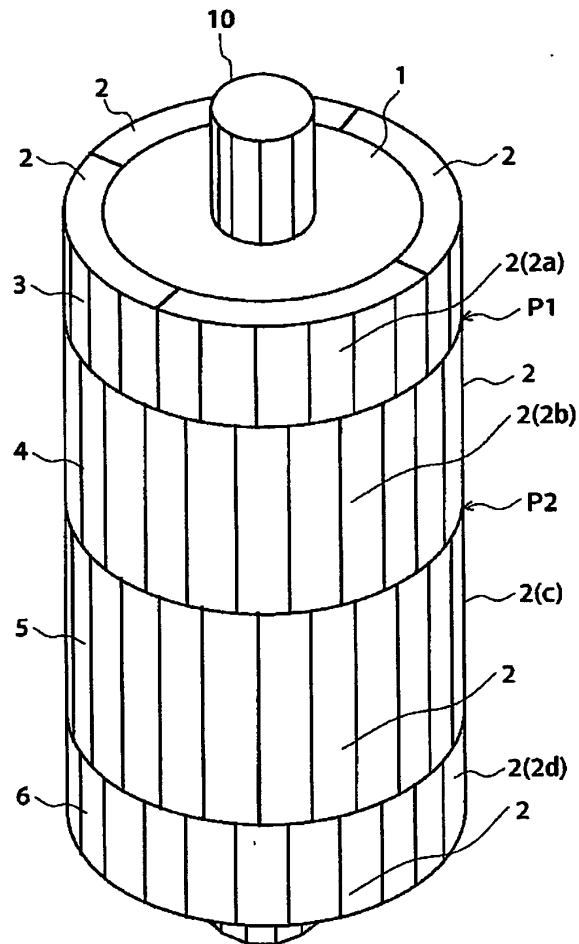
【図 15】

図 15



【図16】

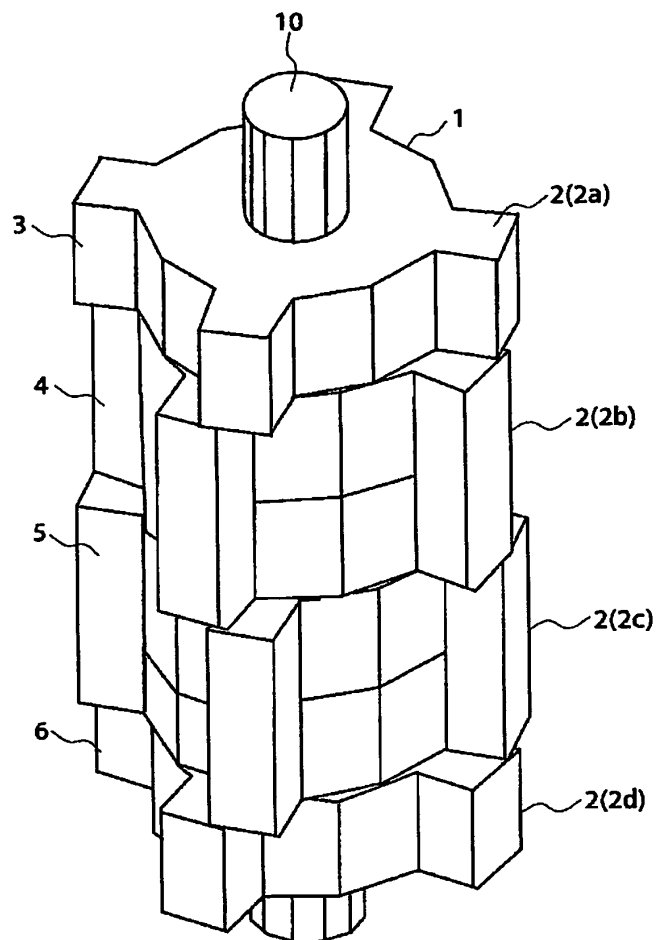
図 16





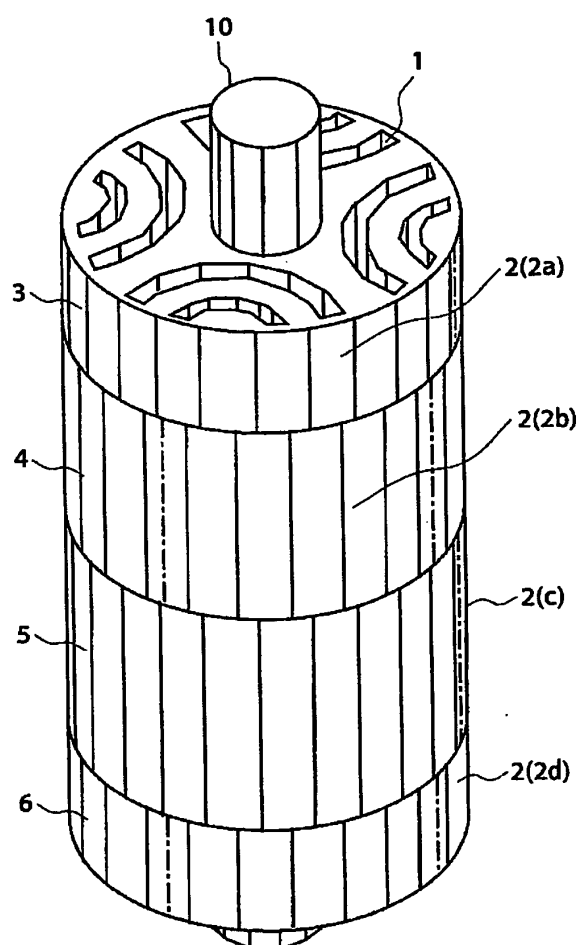
【図 17】

図 17



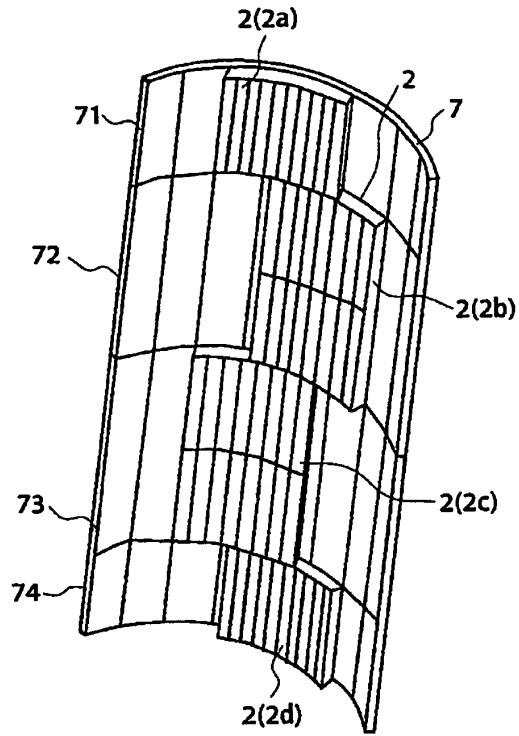
【図 18】

図 18



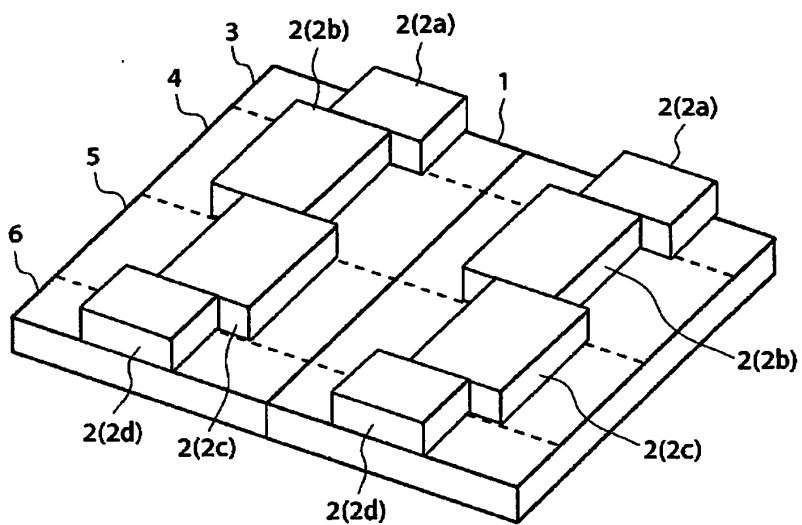
【図 19】

図 19



【図 20】

図 20



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

電動機の半径方向電磁加振力により励起される振動・騒音を抑制する。

【解決手段】

電動機 100 において、回転子 1 は回転子コアの一群の軸長  $2L$  に対し、4 つの回転子ピース 3、4、5、6 に分割され、例えば 4 つの回転子ピース 3、4、5、6 の有効磁極開角は理想的には軸方向の長さが  $0.29L$ 、 $0.71L$ 、 $0.71L$ 、 $0.29L$  であり、かつそれぞれの回転子ピース 3、4、5、6 の永久磁石 2 は回転子 1 の円周方向に電気角の位相差が  $0$ 、 $\pi$ 、 $0$ 、 $\pi$  となるように配置される。また理想的な軸長を変更しても効果がある場合は、前述した軸長に対して公差は  $\pm 0.1L$  とする。

【選択図】 図 1

特願2003-151917

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
氏 名 株式会社日立製作所

特願2003-151917

出願人履歴情報

識別番号

[000003997]

1. 変更新月日

1990年 8月31日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

氏 名

日産自動車株式会社